饲粮不同磷水平和钙磷比对育成期水貂生长性能、营养物质消化率及氮、钙、磷代谢的影响[1]

刘　帅[1]　李欣彤[1]　邢敬亚[1]　张铁涛[1]　陈明帅[1]　万春孟[2]　岳志刚[1]　杨福合[1*]

（1.中国农业科学院特产研究所，特种经济动物分子生物学国家重点实验室，长春 130112；

2.中国农业科学院饲料研究所，北京 100081）

摘　要：本试验旨在研究饲粮不同磷水平和钙磷比对育成期水貂生长性能、营养物质消化率及氮、钙、磷代谢的影响。选取 70 日龄体重相近的雌性水貂 90 只，随机分为 9 组，每组 10 个重复，每个重复 1 只。采用 3×3 双因子试验设计，设 3 个磷水平分别为 1.0%、1.4%、1.8%，3 个钙磷比分别为 1.0、1.5、2.0，配制 9 种试验饲粮，9 种试验饲粮的钙、磷水平实测值如下：1.02%钙、0.96%磷（Ⅰ组），1.49%钙、1.00%磷(Ⅱ组)，1.98%钙、1.01%磷（III 组），1.47%钙、1.35%磷（Ⅳ组），2.11%钙、1.40%磷（Ⅴ组），2.81%钙、1.40%磷（Ⅵ组），1.83%钙、1.73%磷(Ⅶ组)，2.70%钙、1.80%磷（Ⅷ组），3.59%钙、1.80%磷（Ⅸ组）。预试期 7 d，正试期 60 d。结果表明：1）饲粮磷水平对育成期水貂的末重、平均日增重有极显著影响（*P*<0.01），对平均日采食量、料重比有显著影响（*P*<0.05）。饲粮钙磷比只对育成期水貂的平均日增重有极显著影响（*P*<0.01），对末重、平均日采食量和料重比的影响不显著（*P*>0.05）。饲粮磷水平与钙磷比对育成期水貂的平均日增重有极显著交互作用（*P*<0.01）。Ⅴ组的末重、平均日增重最大，料重比最小。2）育成期水貂蛋白质消化率差组间异显著（*P*<0.05），具体表现为Ⅴ、Ⅵ、Ⅷ组显著高于Ⅰ组（*P*<0.05），同时Ⅴ、Ⅵ组还显著高于III 组（*P*<0.05）。饲粮磷水平极显著影响育成期水貂的蛋白质消化率（*P*<0.01）。饲粮钙磷比对育成期水貂各营养物质消化率的影响不显著（*P*>0.05），但脂肪消化率有随饲粮钙磷比的升

收稿日期：2016-06-02

基金项目：特种经济动物种质资源共享平台项目(201301)；中国农业科学院特产研究所科技创新工程专项经费

作者简介：刘　帅（1991-），男，山东泰安人，硕士研究生，从事动物营养与饲料科学研究。E-mail：694851908@qq.com

*通信作者：杨福合，研究员，博士生导师，E-mail：　yangfh@126.com

高呈先增加后降低的二次变化趋势。3）氮沉积表现为Ⅵ组显著高于Ⅰ和Ⅷ组（P<0.05），净蛋白质利用率表现为Ⅵ、Ⅶ、Ⅸ组极显著高于Ⅱ和Ⅷ组（P<0.01），蛋白质生物学价值以Ⅸ组最高，但与Ⅵ和Ⅶ组差异不显著（P>0.05）。粪氮含量有随饲粮磷水平的升高而下降的趋势，净蛋白质利用率、蛋白质生物学价值有随饲粮磷水平的升高而增加的趋势。饲粮钙磷比对净蛋白质利用率、蛋白质生物学价值有极显著影响（P<0.01）。4）粪钙、粪磷含量及钙、磷消化率组间存在极显著差异（P<0.01），以Ⅸ组粪钙、粪磷含量最高，Ⅵ组钙消化率最高，Ⅶ组磷消化率最高。饲粮磷水平、钙磷比对育成期水貂粪钙、粪磷含量及钙、磷消化率有极显著影响（P<0.01）。饲粮磷水平与钙磷比对育成期水貂的粪钙含量、钙消化率有极显著交互作用（P<0.01），对粪磷含量有显著交互作用（P<0.05）。综合各项指标，饲粮中磷水平在1.4%～1.8%、钙磷比在 1.5～2.0 时，育成期水貂可以获得较好的生长性能及较高的营养物质消化率。

关键词：钙磷比；水貂；生长性能；氮代谢；钙代谢；磷代谢

中图分类号：S816　　文献标识码：A　　文章编号：

水貂是一种重要的特种经济动物，貂皮是中国东北三宝之一，素有“裘中之王”之称，在国外更是被称为“软黄金”。钙、磷是动物骨骼与牙齿的重要组成部分，还与神经传导、血液凝固、能量代谢、核酸及细胞膜的组成与功能息息相关，对维持动物的正常生长发育具有重要的作用[1]。适宜的饲粮钙、磷水平与钙磷比可以促进动物骨骼的生长，保证生命活动的正常进行；饲粮钙、磷缺乏会导致动物佝偻病、软骨病的发生，生长迟缓，生产性能下降甚至威胁生命；饲粮钙、磷水平过高不仅会影响动物钙、磷的吸收与沉积，还会影响其他元素的吸收与利用[2]，多余的磷排出体外会造成环境污染[3]。牟晓玲等[4]研究表明，东北肉鹅(29～56 日龄)饲粮钙水平为 0.7%、磷水平为 0.4%时平均日增重最高。Liu 等[5-6]报道，降低猪饲粮钙磷比可以提高低植酸磷玉米-豆粕饲粮中钙、磷的利用率和小肠对钙、磷的吸收率。朱新民[7]对试验羊钙、磷代谢测定结果表明，钙、磷在山羊体内的沉积量与日增重呈正线性

相关。NRC（1982）[8]对育成期水貂钙磷比的推荐量为（1.0～1.2）:1.0。吴学壮[9]在研究育成期水貂饲粮铜适宜添加水平时基础饲粮中总磷水平为2.07、钙磷比为1.5。张铁涛等[10]在研究育成期水貂饲粮适宜蛋白质水平时基础饲粮中总磷水平为1.40、钙磷比为1.7。国内外虽然对水貂的营养做了大量研究，但是关于水貂钙、磷需要量的研究还存在空白，而饲粮钙、磷水平可以影响水貂的生产性能，具有重要作用。本适宜通过配制不同钙、磷饲粮，研究饲粮不同磷水平和钙磷比对育成期水貂生长性能、营养物质消化率及氮、钙、磷代谢的影响，以筛选出适宜育成期水貂的饲粮钙、磷水平，为指导实际生产提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验动物

饲养试验地点为农业部长白山野生生物资源重点野外科学观测试验站。本试验随机选择健康、体重相近的70日龄雌性水貂90只，随机分为9组，每组10个重复，每个重复1只。

1.2 试验设计与试验饲粮

采用2用验双因子试验设计，设定3个磷水平分别为1.0%、1.4%、1.8%，3个钙磷比分别为1.0、1.5、2.0。参考NRC（1982）以及相关文献[8-10]中关于水貂育成期各营养物质需要量配制育成期试验饲粮，其组成组成及营养水平见表1。9种试验饲粮的钙、磷水平如下：1.02%钙、0.96%磷（Ⅰ组），1.49%钙、1.00%磷(Ⅱ组)，1.98%钙、1.01%磷（Ⅲ组），1.47%钙、1.35%磷（Ⅳ组），2.11%钙、1.40%磷（Ⅴ组），2.81%钙、1.40%磷（Ⅵ组），1.83%钙、1.73%磷(Ⅶ组)，2.70%钙、1.80%磷（Ⅷ组），3.59%钙、1.80%磷（Ⅸ组）。预试期 7 d，正试期60 d。

表1 试验饲粮组成及营养水平（风干基础）

Table 1 Composition and nutrient levels of experimental diets （air-dry basis） %

项目 Items	组别 Groups								
	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ	Ⅵ	Ⅶ	Ⅷ	Ⅸ

原料 Ingredients									
膨化玉米粉 Extruded corn	33.00	30.30	30.40	32.80	32.00	29.90	29.50	29.30	27.30
膨化大豆 Extruded soybean	18.00	18.00	17.00	17.00	17.00	15.00	16.00	15.00	12.00
玉米蛋白粉 Corn gluten meal	20.00	19.00	18.00	14.00	10.00	11.00	16.00	11.00	11.00
鱼粉 Fish meal	17.00	17.00	16.00	17.00	18.00	17.20	14.00	17.60	17.00
肉骨粉 Meat and bone meal	2.00	3.00	4.00	8.00	12.00	12.80	6.00	12.50	14.00
乳酪粉 Cheese meal	2.00	4.00	5.00	4.00	3.40	4.00	10.00	4.00	6.00
预混料 Premix[1)]	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
赖氨酸 Lys	0.2	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
蛋氨酸 Met	0.2	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
食盐 NaCl	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
石粉 Limestone		1.20	2.60		1.40	3.40		1.50	4.00
磷酸氢钙 $CaHPO_4$				0.50			3.00	2.40	2.20
豆油 Soybean oil	6.50	6.00	5.50	5.20	4.70	5.20	4.00	5.20	5.00
合计 Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
营养水平 Nutrient levels[2)]									
代谢能 ME/（MJ/kg）	12.49	12.44	12.22	12.40	12.15	12.20	12.55	12.17	12.15
粗蛋白质 CP	32.42	32.85	32.22	32.29	32.26	32.15	32.29	32.18	32.12
粗脂肪 EE	12.50	12.67	12.37	12.34	12.15	12.56	12.33	12.55	12.66
钙磷比 Ca/P ratio	1.06	1.49	2.00	1.08	1.50	2.01	1.06	1.50	2.00
钙 Ca	1.02	1.49	1.98	1.47	2.11	2.81	1.83	2.70	3.59
磷 P	0.96	1.00	1.01	1.35	1.40	1.40	1.73	1.80	1.80

[1)]预混料为每千克饲粮提供 The premix provided the following per kg of diets：VA 10 000 IU，

VD_3 2 000 IU，VE 100 IU，VB_1 6 mg，VB_2 10 mg，VB_6 6 mg，VB_{12} 0.1 mg，VK_3 1 mg，VC 400 mg，烟酸 nicotinic acid 30 mg，泛酸 pantothenic acid 40 mg，生物素 biotin 0.2 mg，叶酸 folic acid 1 mg，胆碱 choline 400 mg，Fe 82 mg，Cu 20 mg，Mn 120 mg，Zn 50 mg，I 0.5 mg，Se 0.2 mg，Co 0.3 mg。

2) 粗蛋白质、粗脂肪、钙、磷为测定值，其他为计算值。Values of CP, EE, Ca, P were measured, and the others were calculated values.

1.3 饲养管理

试验开始前，对水貂接种犬瘟热和细小病毒疫苗。试验水貂均单笼饲养，每日 07:30 与 15:30 各饲喂 1 次，自由采食，自由饮水，每日记录实际采食量。正式试验开始后，每日观察并记录试验水貂的健康状况。

1.4 消化代谢试验

消化代谢试验于 2015 年 9 月 5 日至 2015 年 9 月 8 日进行，共计 4 d。采用全收粪法，消化代谢试验期间饲养管理与日常饲养管理相同。每天收集尿液，尿液收集前在收集桶内加入 10%硫酸 20 mL 固氮，测定尿液中的氮含量。每天收集的粪便称重后按鲜重的 5%加入 10%硫酸溶液，并加少量甲苯防腐，保存于-20 ℃备用。将 4 d 的尿液和粪便分别混合均匀后取样，其中粪便先在 80 ℃下杀菌 2 h，然后降到 65 ℃烘干至恒重，磨碎过 40 目筛，制成风干样本，以备实验室分析。

1.5 测定指标及方法

正试期开始后，以第 1 天称重作为初重，然后每隔 15 d 在早晨饲喂之前空腹称重，以试验结束后称重作为末重，计算每只水貂的日增重以及每组的平均日增重（ADG）；记录每只水貂每天的给料量和残余料量，计算每只水貂的采食量以及每组的平均日采食量。测定基础饲粮、粪便等样品干物质、粗蛋白质、粗脂肪、粗灰分、钙、磷含量[11]。

平均日增重（g/d）＝（末重－初重）/试验天数；

平均日采食量（g/d）＝试验期采食量/试验天数；

干物质消化率（%）＝［(干物质采食量－干物质排出量）/干物质采食量]物质采食；

蛋白质消化率（%）＝［(蛋白质摄入量－蛋白质排出量）/蛋白质摄入量]白质摄入；

脂肪消化率（%）＝［(脂肪摄入量－脂肪排出量）/脂肪摄入量]肪摄入量；

氮沉积（g/d）＝食入氮－粪氮－尿氮；

净蛋白质利用率（%）＝（氮沉积/食入氮）×入氮)；

蛋白质生物学价值（%）＝［氮沉积/（食入氮－粪氮)］×食入氮；

钙消化率＝［(钙摄入量－钙排出量）/钙摄入量]摄入量钙；

磷消化率＝［(磷摄入量－磷排出量）/磷摄入量]摄入量磷。

1.6 数据处理

结果以“平均值±标准差”表示，数据用 Excel 进行整理并用 SAS 8.0 软件中的 GLM 程序进行双因素有交互作用(Two-way ANOVA)方差分析，采用 Duncan 氏法进行多重比较，$P<0.05$ 为差异显著，$P<0.01$ 为差异极显著。

2 结果

2.1 饲粮不同磷水平和钙磷比对育成期水貂生长性能的影响

由表 2 可知，育成期水貂末重、平均日增重组间存在极显著差异（$P<0.01$），料重比组间存在显著差异（$P<0.05$），以Ⅴ组末重、平均日增重最大，料重比最小。饲粮磷水平对育成期水貂的末重、平均日增重有极显著影响（$P<0.01$），对平均日采食量、料重比有显著影响（$P<0.05$）。饲粮磷水平为 1.0%和 1.4%时的末重、平均日增重极显著高于饲粮磷水平为 1.8%时（$P<0.01$），饲粮磷水平为 1.4%时的平均日采食量显著高于饲粮磷水平为 1.0%和 1.8%时（$P<0.05$），饲粮磷水平为 1.0%和 1.4%时的料重比显著低于饲粮磷水平为 1.0%和 1.8%时（$P<0.05$）。饲粮钙磷比只对育成期水貂的平均日增重有极显著影响（$P<0.01$），对末重、平均日采食量和料重比的影响不显著（$P>0.05$）。以饲粮钙磷比为 1.5 时平均日增重最高，极

显著高于饲粮钙磷比为 1.0 和 2.0 时（*P*<0.01）。饲粮磷水平与钙磷比对育成期水貂的平均日增重有极显著交互作用（*P*<0.01）。

表 2　饲粮不同磷水平和钙磷比对育成期水貂生长性能的影响

Table 2　Effects of different dietary P levels and Ca/P ratios on growth performance of growing minks

项目 Items		初重 Initial weight/g	末重 Final weight/g	平均日增重 ADG/（g/d）	平均日采食量 ADFI/（g/d）	料重比 F/G
组别 Groups	Ⅰ	779.20±79.2p	1 011.00±80.76^{ABbc}	3.78±$.776^{BCcd}$	61.23±6.23	15.34±2.12^{b}
	Ⅱ	777.80±77.80	1 050.14±70.56^{ABabc}	4.39±$.396^{ABbc}$	65.52±4.34	14.78±1.30^{b}
	Ⅲ	777.00±77.00	1 055.50±100.23^{ABabc}	4.49±$.492^{ABabc}$	70.79±5.32	15.63±1.45^{b}
	Ⅳ	777.80±77.80	993.00±70.32^{ABbc}	3.47±$.472^{BCde}$	73.43±5.67	19.32±2.35^{ab}
	Ⅴ	776.00±76.00	1 106.20±90.78^{Aa}	5.34±$.348^{Aa}$	76.67±3.81	14.54±0.79^{b}
	Ⅵ	777.90±77.90	1 074.00±87.56^{ABabc}	4.77±$.776^{ABab}$	78.32±6.56	16.44±0.47^{b}
	Ⅶ	777.20±77.20	922.80±101.11^{Bd}	2.84±$.841^{Cef}$	66.65±8.21	26.34±1.54^{a}
	Ⅷ	777.70±77.70	931.29±70.44^{Bd}	2.47±$.474^{Cf}$	62.87±6.32	23.45±1.39^{ab}
	Ⅸ	778.80±78.80	924.75±80.21^{Bd}	2.35±$.351^{Cf}$	70.43±4.34	26.87±1.98^{a}
磷水平	1.0	778.00±	1 037.59±	4.23±	66.37±	14.65±1.43

P level/%		78.00	90.36^{Aa}	1.22^{Aa}	4.67^{b}	^{b}
	1.4	777.20±77.20	1 044.11±97.45^{Aa}	4.42±1.12^{Aa}	75.21±5.45^{a}	16.34±1.11^{b}
	1.8	777.90±77.90	926.55±89.21^{Bb}	2.59±0.78^{Bb}	67.02±5.65^{b}	26.87±1.67^{a}
钙磷比 Ca/P ratio	1.0	778.07±78.07	980.85±70.32	3.33±1.01^{Bb}	67.32±6.02	21.78±1.34
	1.5	777.17±77.17	1 021.11±90.76	4.04±1.19^{Aa}	68.02±5.98	19.32±1.56
	2.0	777.90±77.90	999.41±89.45	3.98±1.09^{Aa}	73.00±6.43	20.56±1.45
P 值 *P*-value	组别 Group	1.000 0	0.003 0	<0.000 1	0.545 4	0.046 5
	磷水平 P level	1.000 0	<0.000 1	<0.000 1	0.034 1	0.044 5
	钙磷比 Ca/P ratio	1.000 0	0.167 3	0.001 0	0.671 2	0.786 2
	交互作用 Interaction	0.9871	0.640 1	<0.000 1	0.534 2	0.767 3

同列同一项目数据肩标无字母或相同字母表示差异不显著(*P*＞0.05)，不同小写字母表示差异显著(*P*＜0.05)，不同大写字母表示差异极显著(*P*＜0.01)。下表同。

In the same column and the same item, values with no letter or the same letter superscripts mean no significant difference (*P*＞0.05), while with different small letter superscripts mean significant difference (*P*＜0.05), and with different capital letter superscripts mean significant difference (*P*＜0.01). The same as below.

2.2 饲粮不同磷水平和钙磷比对育成期水貂营养物质消化率的影响

由表 3 可知，育成期水貂蛋白质消化率组间存在差异显著（*P*<0.05），具体表现为Ⅴ、Ⅵ、Ⅷ组显著高于I组（*P*<0.05），同时V、VI组还显著高于III组（*P*<0.05）。饲粮磷水平极显著影响育成期水貂的蛋白质消化率（*P*<0.01），对干物质采食量有显著影响（*P*<0.05）。饲粮磷水平为 1.0%、1.4%时的蛋白质消化率极显著高于饲粮磷水平为 1.8%时（*P*<0.01），饲粮

磷水平为 1.4%时的干物质采食量显著高于饲粮磷水平为 1.0%和 1.8%时（P<0.05）。饲粮钙磷比对育成期水貂各营养物质的消化率均无显著影响（P>0.05），但脂肪消化率有随钙磷比的升高先增加后降低的二次变化趋势，以饲粮钙磷比为 1.5 时最高。

表 3　饲粮不同磷水平和钙磷比对育成期水貂营养物质消化率的影响

Table 3　Effects of different dietary phosphorus levels and Ca/P ratios on nutrient digestibility of growing minks

项目 Items		干物质采食量 DM intake/g	干物质排出量 DM output/g	干物质消化率 DM digestibility/%	蛋白质消化率 Protein digestibility/%	脂肪消化率 Fat digestibility/%
组别 Groups	Ⅰ	63.18±4.54	21.30±2.04	66.54±1.43	65.55±2.11^{c}	68.33±3.29
	Ⅱ	68.62±5.67	21.93±1.98	68.03±1.02	69.61±3.01^{abc}	70.52±4.72
	Ⅲ	73.04±3.98	25.71±1.79	64.38±1.34	66.21±2.87^{bc}	68.16±3.65
	Ⅳ	76.22±6.25	23.28±2.12	69.59±1.25	72.34±2.64^{abc}	74.15±3.27
	Ⅴ	79.98±7.43	24.53±1.67	69.72±1.65	73.65±3.56^{a}	70.42±2.87
	Ⅵ	80.49±5.78	24.38±1.99	69.79±1.44	74.81±1.90^{a}	65.57±3.08
	Ⅶ	68.96±4.35	22.52±1.73	67.38±1.49	72.23±1.78^{abc}	64.58±3.49
	Ⅷ	64.36±5.05	21.01±1.90	67.58±1.26	72.75±2.62^{ab}	71.63±3.25
	Ⅸ	74.22±6.34	26.06±2.32	65.02±1.32	72.03±3.11^{abc}	70.16±4.18

磷水平 P level/%	1.0	68.28±5.65^{b}	22.98±1.88	66.32±1.41	67.13±2.35^{Bb}	69.00±3.22
	1.4	78.90±4.67^{a}	24.06±2.04	69.70±1.32	73.60±2.56^{Aa}	70.05±3.09
	1.8	69.18±7.54^{b}	23.19±1.76	66.66±1.16	72.34±1.98^{Aa}	68.79±4.08
钙磷比 Ca/P ratio	1.0	69.45±4.38	22.37±1.67	67.84±1.27	70.04±3.02	69.02±3.20
	1.5	70.99±5.76	22.48±1.92	68.44±1.39	72.00±2.76	70.86±3.19
	2.0	75.92±4.56	25.38±2.15	66.40±1.38	71.01±2.17	67.97±3.51
P 值 *P*-value	组别 Group	0.240 4	0.834 9	0.574 4	0.047 9	0.75 70
	磷水平 P level	0.037 1	0.864 7	0.124 0	0.002 1	0.909 8
	钙磷比 Ca/P ratio	0.315 6	0.282 0	0.501 9	0.553 8	0.642 0
	交互作用 Interaction	0.844 2	0.871 1	0.924 8	0.831 1	0.439 1

2.3 饲粮不同磷水平和钙磷比对育成期水貂氮代谢的影响

由表 4 可知，育成期水貂食入氮、粪氮、尿氮组间不存在显著差异（*P*>0.05），氮沉积组间存在显著差异（*P*<0.05），净蛋白质利用率、蛋白质生物学价值组间存在极显著差异（*P*<0.01）。其中，氮沉积表现为Ⅵ组显著高于Ⅰ和Ⅷ组（*P*<0.05），净蛋白质利用率表现为Ⅵ、Ⅶ、Ⅸ组极显著高于Ⅱ和Ⅷ组（*P*<0.01），蛋白质生物学价值以Ⅸ组最高，但与VI和VII组差异不显著（*P*>0.05）。饲粮磷水平对育成期水貂的食入氮和净蛋白质利用率有显著影响(*P*<0.05)。饲粮磷水平为1.4%时的食入氮显著高于饲粮磷水平为1.0%和1.8%时(*P*<0.05)，净蛋白质利用率有随饲粮磷水平的升高而增加的趋势，饲粮磷水平为1.4%和1.8%时显著高

于饲粮磷水平为 1.0%时（*P*<0.05）。此外，粪氮含量有随饲粮磷水平的升高而下降的趋势，蛋白质生物学价值有随饲粮磷水平的升高而增加的趋势，但差异均未达显著水平（*P*>0.05）。饲粮钙磷比对育成期水貂的净蛋白质利用率、蛋白质生物学价值有极显著影响（*P*<0.01）。净蛋白质利用率以饲粮钙磷比为1.5时最低，极显著低于饲粮钙磷比为1.0和2.0时（*P*<0.01）；蛋白质生物学价值以饲粮钙磷比为 2.0 时最高，显著高于饲粮钙磷比为 1.5 时（*P*<0.05），极显著高于饲粮钙磷比为 1.5 时（*P*<0.01）。

表 4　饲粮不同磷水平和钙磷比对育成期水貂氮代谢的影响

Table 4　Effects of different dietary P levels and Ca/P ratios on on nitrogen metabolism of growing minks

项目 Items		食入氮 Nitrogen intake/（g/d）	尿氮 Urine nitrogen/（g/d）	粪氮 Fecal nitrogen/（g/d）	氮沉积 Nitrogen deposition/（g/d）	净蛋白质利用率 NPU/%	蛋白质生物学价值 BV of protein/%
组别 Groups	I	3.25±0.32	1.15±0.32	1.13±0.07	0.98±0.21^{b}	35.79±4.56^{ABbc}	54.79±7.45^{BCbcd}
	II	3.54±0.29	0.99±0.19	1.08±0.14	1.47±0.35^{ab}	25.94±3.98^{Bc}	37.93±6.51^{CDe}
	III	3.76±0.14	1.21±0.38	1.25±0.12	1.30±0.27^{ab}	33.50±5.31^{ABbc}	50.47±10.23^{BCDcd}
	IV	3.93±0.28	1.56±0.17	1.09±0.09	1.27±0.24^{ab}	32.68±4.21^{ABbc}	45.11±8.88^{BCDcd}
	V	4.12±0.25	1.25±0.20	1.10±0.16	1.77±0.19^{ab}	35.28±6.43^{ABbc}	49.39±7.98^{BCDcd}

	Ⅵ	4.15 ± 0.19	1.12 ± 0.38	1.05 ± 0.12	1.97±0.36^{a}	46.52±5.98^{Aa}	63.93 ± 10.09^{ABab}
	Ⅶ	3.55 ± 0.26	1.00 ± 0.23	0.99 ± 0.08	1.56±0.41^{ab}	43.70±7.12^{Aa}	60.45 ± 9.06^{ABabc}
	Ⅷ	3.32 ± 0.17	1.36 ± 0.28	0.92 ± 0.10	1.03±0.22^{b}	25.07±4.39^{Bc}	34.26 ± 7.36^{De}
	Ⅸ	3.82 ± 0.25	1.06 ± 0.27	1.08 ± 0.07	1.69±0.32^{ab}	44.23±3.67^{Aa}	73.83 ± 12.56^{Aa}
磷水平 P level/%	1.0	3.52 ± 0.23^{b}	1.11±0.26	1.15 ± 0.11	1.25±0.24	32.38±3.67^{b}	48.77 ± 8.32
	1.4	4.06±0.21^{a}	1.31±0.29	1.08 ± 0.12	1.67±0.31	37.01±4.33^{a}	51.24 ± 10.25
	1.8	3.56±0.22^{b}	1.14±0.22	0.99 ± 0.08	1.43±0.25	37.62±5.01^{a}	55.07 ± 9.78
钙磷比 Ca/P ratio	1.0	3.58 ± 0.27	1.24 ± 0.32	1.07 ± 0.15	1.27±0.29	37.50±4.98^{Aa}	53.36 ± 10.21^{Ab}
	1.5	3.66 ± 0.19	1.20 ± 0.18	1.03 ± 0.07	1.42±0.26	29.02±5.32^{Bb}	40.76 ± 9.76^{Bc}
	2.0	3.91 ± 0.25	1.13 ± 0.21	1.13 ± 0.09	1.65±0.30	39.98±4.22^{Aa}	60.51 ± 9.87^{Aa}
P 值 *P*-value	组别 Group	0.240 4	0.690 3	0.829 3	0.042 6	0.000 5	<0.000 1
	磷水平 P level	0.037 1	0.503 6	0.322 7	0.156 5	0.036 1	0.0735
	钙磷比 Ca/P ratio	0.315 6	0.829 3	0.648 9	0.213 4	0.000 9	<0.000 1
	交互作用 Interaction	0.844 2	0.444 5	0.908 6	0.233 7	0.010 7	0.002 3

2.4 饲粮不同磷水平和钙磷比对育成期水貂钙、磷代谢的影响

由表 5 可知，粪钙、粪磷含量及钙、磷消化率组间存在极显著差异（$P<0.01$）。粪钙、

粪磷含量均以Ⅸ组最高，显著或极显著高于Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ组（*P*<0.05 或 *P*<0.01）；钙消化率以Ⅵ组最高，除与Ⅲ和Ⅸ组差异不显著（*P*>0.05）外，显著或极显著高于其他各组（*P*<0.05 或 *P*<0.01）；磷消化率以Ⅶ组最高，除与Ⅸ组差异不显著（*P*>0.05）外，显著或极显著高于其他各组（*P*<0.05 或 *P*<0.01）。饲粮磷水平对育成期水貂粪钙、粪磷含量及钙、磷消化率有极显著影响（*P*<0.01）。粪钙、粪磷含量及磷消化率随饲粮磷水平的升高而升高，饲粮磷水平为 1.4%和 1.8%时的粪钙、粪磷含量极显著高于饲粮磷水平为 1.0%时（*P*<0.01），饲粮磷水平为 1.8%时的磷消化率极显著高于饲粮磷水平为 1.0%和 1.4%时（*P*<0.01）；钙消化率以饲粮磷水平为 1.4%时最低，极显著低于饲粮磷水平为 1.0%和 1.8%时（*P*<0.01）。饲粮钙磷比对育成期水貂粪钙、粪磷含量及钙、磷消化率有极显著影响（*P*<0.01）。粪钙、粪磷含量均以饲粮钙磷比为 1.5 时最高，极显著高于饲粮钙磷比为 1.0 时（*P*<0.01）；随饲粮钙磷比的升高，钙消化率极显著升高（*P*<0.01）；磷消化率以饲粮钙磷比为 1.0 时最高，极显著高于饲粮钙磷比为 1.5 时（*P*<0.01）。饲粮磷水平与钙磷比对育成期水貂的粪钙含量、钙消化率有极显著交互作用（*P*<0.01），对粪磷含量有显著交互作用（*P*<0.05）。

表 5　饲粮不同磷水平和钙磷比对育成期水貂钙、磷代谢的影响

Table 5　Effects of different dietary P levels and Ca/P ratios on Ca and P metabolism of growing minks

项目 Items		粪钙 Fecal Ca/（g/d）	粪磷 Fecal P/（g/d）	钙消化率 Ca digestibility/%	磷消化率 P digestibility/%
组别 Groups	Ⅰ	0.62 ± 0.08^{Cd}	0.40 ± 0.02^{Bc}	-2.35 ± 1.01^{Cd}	34.04 ± 6.01^{BCbcd}
	Ⅱ	0.87 ± 0.05^{BCcd}	0.51 ± 0.02^{ABbc}	15.29 ± 4.32^{BCcd}	26.31 ± 5.43^{CDde}
	Ⅲ	0.90 ± 0.08^{BCbcd}	0.50 ± 0.04^{ABbc}	37.14 ± 4.43^{ABab}	23.89 ± 2.43^{De}
	Ⅳ	1.45 ± 0.15^{ABa}	0.72 ± 0.03^{ABab}	-34.83 ± 7.92^{De}	31.74 ± 4.32^{BCcd}

	Ⅴ	1.63±0.19^{Aa}	0.79±0.05^{Aa}	4.47±1.21^{Ccd}	24.82±1.02^{De}
	Ⅵ	1.24±0.14^{ABCabc}	0.63±0.06^{ABabc}	44.86±8.81^{Aa}	35.63±2.15^{BCbcd}
	Ⅶ	1.19±0.14^{ABCabc}	0.65±0.02^{ABabc}	4.78±2.85^{Ccd}	48.24±4.34^{Aa}
	Ⅷ	1.37±0.14^{ABab}	0.72±0.04^{ABab}	21.61±5.81^{ABCbc}	38.00±4.78^{ABbc}
	Ⅸ	1.60±0.07^{Aa}	0.83±0.03^{Aa}	40.60±7.59^{ABa}	41.97±5.56^{ABabc}
磷水平 P level/%	1.0	0.81±0.02^{Bb}	0.47±0.01^{Bb}	18.05±1.91^{Aa}	27.66±2.43^{Bb}
	1.4	1.39±0.11^{Aa}	0.72±0.02^{Aa}	4.83±0.78^{Bb}	30.73±2.98^{Bb}
	1.8	1.44±0.09^{Aa}	0.74±0.01^{Aa}	22.33±4.32^{Aa}	42.74±3.21^{Aa}
钙磷比 Ca/P ratio	1.0	1.12±0.06^{Bb}	0.61±0.04^{Bb}	-11.40±3.67^{C}	38.29±4.09^{Aa}
	1.5	1.29±0.09^{Aa}	0.67±0.09^{Aa}	13.79±2.45^{B}	29.71±1.78^{Bb}
	2.0	1.25±0.08^{Aa}	0.66±0.05^{ABab}	40.86±6.98^{A}	33.83±2.67^{ABab}
P 值 *P*-value	组别 Group	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1	<0.000 1
	磷水平 P level	<0.000 1	<0.000 1	0.004 0	<0.000 1
	钙磷比 Ca/P ratio	<0.000 1	0.001 5	<0.000 1	0.004 8
	交互作用 Interaction	<0.000 1	0.028 8	0.009 4	0.128 8

3 讨 论

3.1 饲粮不同磷水平和钙磷比对育成期水貂生长性能的影响

表 2 中结果显示，试验结束后不同组水貂末重不一致，组间存在极显著差异，说明不同的饲粮钙、磷水平对水貂的生长性能有一定影响，饲粮的钙、磷水平及钙磷比必须维持在一定范围内才能保证水貂的快速生长。张书杰[12]的研究表明低磷饲粮降低了生长猪的生长性

能，曹慧[13]的试验结果表明饲粮磷水平的上升提高了仔猪的生长性能，与本试验结果一致。本试验中，随着饲粮磷水平的升高，水貂平均日增重先升高后降低，说明 1.4%的磷已经可以满足水貂育成期生长的需要，Ⅵ组与Ⅷ组的饲粮钙水平基本一致，磷水平相差 0.4%，而Ⅵ组的平均日增重却比Ⅷ组高出 48%，说明饲粮磷水平过高会降低采食量，反而不利于生长，这与蒋芳[14]在阳江鹅钙、磷需要量的研究上所得结果一致。随着饲粮钙磷比的升高，水貂平均日增重同样有先升高后降低的规律，饲粮钙磷比为 1.5 时较适宜，过低或过高都会影响水貂的生长速度。

3.2 饲粮不同磷水平和钙磷比对育成期水貂营养物质消化率的影响

干物质消化率有随着饲粮磷水平、钙磷比的升高而先升高后降低的趋势，说明低磷低钙磷比和高磷高钙磷比都不利于水貂对营养物质的消化吸收。Takeuchi 等[15]研究认为磷的添加可以为 ATP 2 个高能键的断裂提供能量，从而增强体内脂肪酸的活化作用，进而使β氧化增强、糖原生成增加，导致蛋白质沉积的增加和脂肪沉积的降低。磷也是构成磷酸脂的重要成分，并参与脂类代谢。在较低的磷水平下，随着钙水平的升高，营养物质消化率在变大，但是，过量的钙会在肠道中与脂肪酸形成不溶性的皂化物，降低脂肪消化率[16-17]。本试验中，在 1.4%磷水平下，随着钙水平的升高，脂肪消化率下降明显。过高的钙还会稀释饲粮中的营养物质浓度，降低采食量，但是在本试验中，随着饲粮钙磷比的升高，干物质采食量却在升高，同时干物质排出量增加，干物质消化率降低，这可能是因为高钙降低了干物质消化率，生长期动物为了获取一定的营养来实现正常生长而增加了采食量。

3.3 饲粮不同磷水平和钙磷比对育成期水貂氮代谢的影响

关于单胃动物氮代谢随饲粮钙、磷水平变化情况的报道较少。水貂在摄入含氮饲粮后，一部分被吸收利用合成蛋白质，一部分在肠道未被吸收以粪氮形式排除，还有一部分被吸收了却未被用来合成蛋白质，而是经过组织代谢后以尿氮形式排出[18]。Cromwel[19]在研究中发现饲粮粗蛋白质水平与饲粮磷水平之间并不存在互作。在本试验中，随着磷水平的增加，氮

沉积先升高后降低，这与前人研究结果一致。Mudd 等[20]研究发现氮的沉积作用受饲粮磷水平影响要大于饲粮钙水平，Vipperman 等[21-22]研究发现在不增加饲粮磷水平的情况下增加饲粮钙水平可以导致氮在体内沉积的下降，产生这种现象的主要原因是磷与钙、脂肪等作用形成皂素抑制了部分氨基酸的利用。雷乔波等[23]在蛋鸡上的试验表明低磷显著降低氮的利用率。本试验中，随着饲粮磷水平的升高，粪氮排出量减少，提高了氮的利用率，增加了净蛋白质利用率、蛋白质生物学价值。高钙磷比在氮的沉积过程中起促进作用，这与高钙磷比提高了水貂的采食量，降低了尿氮的排出量有关。

3.4 饲粮不同磷水平和钙磷比对育成期水貂钙、磷代谢的影响

表 5 中结果显示，饲粮磷水平与钙磷比极显著影响育成期水貂对钙、磷的代谢。钙与磷的吸收是相互作用的，也是与机体的需要量相适应的。在肉鸡上的研究表明，随着饲粮钙、磷水平的升高，胴体和羽毛中钙、磷沉积量极显著增加[24]。提高饲粮磷水平可以增加粪钙含量，王凤来等[25]在研究饲粮不同磷水平和钙磷比对香猪钙、磷代谢影响时也发现，提高饲粮磷水平可以增加香猪粪中钙、磷的含量。提高饲粮磷水平，粪磷含量随之增加，磷消化率随之升高。这是由磷的吸收机制决定的，Murer[26]研究表明，钠磷转运蛋白(NaPi)是属于溶质运载蛋白家族的，对动物机体磷的平衡中起到重要作用，其在近曲小管和肠上皮细胞中表达量的多少可以直接限制隣的转运速度。同时，钙同样影响磷的吸收，随着钙磷比的升高，磷吸收率有下降趋势[1]，与王宗伟[27]的试验结果一致。动物对钙吸收的同时也需要磷水平保持在一定范围，钙水平过低而磷水平过高时，则形成磷酸钙沉淀而不能被吸收[28]。本试验中，随着饲粮钙磷比的升高，粪钙含量先升高后降低，钙消化率随之升高，在相同磷水平下，随着钙水平的升高，钙消化率随之增加，这是因为钙会与蛋白质形成钙结合蛋白，促进钙的吸收。饲粮钙磷比较小时，钙的吸收较小甚至会出现负值，这是因为摄入的钙无法满足机体需求，内源钙大量排出导致的[29]。

4 结　论

综合各项指标，饲粮中磷水平在 1.4%～1.8%、钙磷比在 1.5～2.0 时，育成期水貂可以获得较好的生长性能及较高的营养物质消化率。

参考文献：

[1] 霍启光.动物磷营养与磷源[M].北京:中国农业科学技术出版社,2002.

[2] 爱姆・路斯.家禽营养需要[M].蔡辉益,文杰,杨禄良,译.9 版.北京:中国农业科技出版社,1994.

[3] TILMAN D,FARGIONE J,WOLFF B,et al.Forecasting agriculturally driven global environmental change[J].Science,2001,292(5515):281–284.

[4] 牟晓玲,王宗伟,隋美霞,等.日粮营养素水平对东北肉鹅生长性能及血液生化指标的影响(29~56 日龄)[J].核农学报,2009,23(5):898–903.

[5] LIU J,BOLLINGER D W,LEDOUX D R,et al.Lowering the dietary calcium to total phosphorus ratio increases phosphorus utilization in low-phosphorus corn-soybean meal diets supplemented with microbial phytase for growing-finishing pigs[J].Journal of Animal Science,1998,76(3):808–813.

[6] LIU J,BOLLINGER D W,LEDOUX D R,et al.Effects of dietary calcium:phosphorus ratios on apparent absorption of calcium and phosphorus in the small intestine,cecum,and colon of pigs[J].Journal of Animal Science,2000,78(1):106–109.

[7] 朱新民.生长期波杂山羊钙磷代谢规律及需要量研究[D].硕士学位论文.乌鲁木齐:新疆农业大学,2004.

[8] NRC.Nutrient requirements of mink and foxes[S].Washington,D.C.:National Academy Press,1982.

[9] 吴学壮.水貂饲粮适宜铜源及铜水平研究[D].博士学位论文.北京：中国农业科学院,2015.

[10] 张铁涛,崔虎,杨颖,等.饲粮蛋白质水平对育成期母貂生长性能、营养物质消化代谢及血清生化指标的影响[J].动物营养学报,2012,24(5):835–844.

[11] 张丽英.饲料分析及饲料质量检测技术[M].3 版.北京:中国农业大学出版社,2007.

[12] 张书杰.植酸酶对生长猪生产性能及饲料养分利用率的影响[D].硕士学位论文.郑州:河南农业大学,2003.

[13] 曹慧.猪对饲料级磷酸盐磷生物学利用率的研究[D].硕士学位论文.雅安:四川农业大学,2003.

[14] 蒋芳.阳江鹅钙磷需要量的研究[D].硕士学位论文.南宁:广西大学,2014.

[15] TAKEUCHI M,NAKAZOE J.Effect of dietary phosphorus on lipid content and its composition in carp[J].Bulletin of the Japanese Society of Scientific Fisheries,1981,47:347–352.

[16] ROUVINEN K,KHSKINEN T.High dietary ash content decreases fat digestibility in the mink[J].Acta Agriculturae Scandinavica,1991,41(4):375–386.

[17] ATTEH J O,LEESON S.Influence of age,dietary cholic acid,and calcium levels on performance,utilization of free fatty acids,and bone mineralization in broilers[J].Poultry Science,1985,64(10):1959–1971.

[18] 万春孟,张铁涛,吴学壮,等.饲粮 *L*-精氨酸添加水平对冬毛期水貂生长性能、营养物质消化率及氮代谢的影响[J].动物营养学报,2015,27(9):2963–2969.

[19] CROMWELL G L.Reduce the excretion of phosphorus and nitrogen by regulating diets[C]//Proceedings of the 14th IPV S Congress.Bologna,Italy.[S.l.]:[s.n.]1996:418.

[20] MUDD A J,SMITH W C,ARMSTRONG D G.The influence of dietary concentration of calcium and phosphorus on their retention in the body of the growing pig[J].The Journal of Agricultural Science,1969,73(2):189–196.

[21] VIPPERMAN P E, PEO E R, CUNNINGHAM P J.Effect of dietary calcium and phosphorus

level upon calcium,phosphorus and nitrogen balance in swine[J].Journal of Animal Science,1974,38(4):758–765.

[22] VIPPERMAN P E,Jr,PRESTON R L, KINTNER L D,et al.Role of calcium in the nutritional etiology of a metabolic disorder in ruminants fed a high grain ration[J].The Journal of Nutrition,1969,97(4):449–462.

[23] 雷乔波.植酸酶对产蛋鸡生产性能、骨骼质量及养分利用率的影响[D].硕士学位论文.雅安:四川农业大学,2010.

[24] 张志成.肉鸡钙磷营养需要动态预测模型研究[D].硕士学位论文.南昌:江西农业大学,2012.

[25] 王凤来,陈清明,张曼夫,等.日粮不同磷水平和钙磷比例对香猪钙磷代谢的影响[J].中国畜牧杂志,1999,35(6):8–11.

[26] MURER H.Functional domains in the renal type IIa Na/P_i-cotransporter[J].Kidney International,2002,62(2):375–382.

[27] 王宗伟.0–4w 杂交鹅代谢能、粗蛋白、钙和非植酸磷需要量的研究[D].硕士学位论文.哈尔滨:东北农业大学,2009.

[28] ORENDÁC M,KOZICH V,ZEMAN J,et al.Clinical picture of homocystinuria with cystathionine beta-synthase deficiency in 19 Czech and Slovak patients[J].Casopis Lekaru Ceskych,2000,139(16):500–507.

[29] 旷昶.用回归分析法测定猪钙、磷内源排泄量和豆粕钙、磷的真消化率[D].硕士学位论文.武汉:华中农业大学,2005.

Effects of Different Dietary Phosphorus Levels and Calcium/Phosphorus Ratios on Growth Performance, Nutrient Digestibility, and Nitrogen, Calcium and Phosphorus Metabolism of Growing Minks

LIU Shuai[1] LI Xintong[1] XING Jingya[1] ZHANG Tietao[1] CHEN Mingshuai[1] WAN Chunmeng[2] YUE Zhigang[1] YANG Fuhe[1*]

(1. *State Key Laboratory for Molecular Biology of Special Economic Animals, Institute of Special Wild Economic Animals and Plants, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Changchun* 130112, *China;* 2. *Institute of Feed Research, Chinese Academy of Agriculture Science, Beijing* 100081, *China*)

Abstract: This study was conducted to study the effects of different dietary phosphorus levels and calcium/phosphorus ratios on growth performance, nutrient digestibility, and nitrogen, calcium and phosphorus metabolism of growing minks. Ninety healthy female mink at the age of 70 days with the similar body weight were randomly divided into 9 groups with 10 replicates each and 1 mink per replicate. Nine experimental diets were formulated by using 3×3 double factorial experiment design, firstly, setting 3 phosphorus levels: 1.0%, 1.4% and 1.8% ; secondly, setting 3 calcium/phosphorus ratios: 1.0, 1.5 and 2.0. The minks in 9 groups were fed experimental diets with 1.02% calcium and 0.96% phosphorus （group Ⅰ）, 1.49% calcium and 1.00% phosphorus (group Ⅱ）, 1.98% calcium and 1.01% phosphorus （group Ⅲ）, 1.47% calcium and 1.35% phosphorus (group Ⅳ), 2.11% calcium and 1.40% phosphorus （group Ⅴ）, 2.81% calcium and 1.40% phosphorus （group Ⅵ）, 1.83% calcium and 1.73% phosphorus (group Ⅶ), 2.70% calcium and 1.80% phosphorus （group Ⅷ） and 3.59% calcium and 1.80% phosphorus （group Ⅸ）, respectively. The adaptation period lasted for 7 days and the formal period lasted for 60 days. The results showed as follows: 1) dietary phosphorus level had significant effects on final weight and average daily gain (P<0.01), and had significant effects on average daily feed intake and feed/gain (P<0.05). Dietary calcium/phosphorus ratio only had a significant effect on average daily gain (P<0.01), and had no significant effects on final weight, average daily feed intake and feed/gain (P>0.05). The interaction between dietary phosphorus level and calcium/phosphorus ratio in the average daily gain was significant (P<0.01). The final weight and average daily gain of group Ⅴ were the maximum while the feed/gain was the minimum. 2) The protein digestibility

---

*Corresponding author, professor, E-mail： yangfh@126.com （责任编辑　菅景颖)

of groups was different significantly （$P<0.05$）, which expressed as groups Ⅴ, Ⅵ and Ⅷ was significant higher than group Ⅰ （$P<0.05$）, and groups Ⅴ and Ⅵ was significant higher than group Ⅲ （$P<0.05$）. Dietary phosphorus level had a significant effect on the protein digestibility ($P<0.01$), but the calcium/phosphorus ratio had no significant effects on the nutrient digestibility （$P>0.05$）, but the fat digestibility had a quadratic trend of firstly increase and then decrease with the dietary calcium/phosphorus ratio increasing. 3) Nitrogen deposition of group Ⅵ was significantly higher than that of groups Ⅰ and Ⅷ（$P<0.05$）, net protein utilization of groups Ⅵ, Ⅶ and Ⅸ was significantly higher than that of groups Ⅱ and Ⅷ （$P<0.01$）, the biological value of protein of group Ⅸ was the highest, but had no significant difference compared with groups Ⅵ and Ⅶ （$P>0.05$）. With the dietary phosphorus level increasing, the fecal nitrogen content showed a decrease trend, but the biological value of protein and net protein utilization showed a increase trend. Dietary calcium/phosphorus ratio had significant effects on the biological value of protein and net protein utilization ($P<0.01$). The interaction between dietary phosphorus level and calcium/phosphorus ratio in the fecal calcium content ($P<0.01$), fecal phosphorus content ($P<0.05$) and calcium digestibility ($P<0.01$) was significant. Comparing all measured indices, when dietary phosphorus level is 1.4% to 1.8% and calcium/phosphorus ratio is 1.5 to 2.0, growing minks can obtain the better growth performance and the higher nutrient digestibility.

Key words: calcium/phosphorus ratio; minks; growth performance; nitrogen metabolism; calcium metabolism, phosphorus metabolism